

氏 名	大 本 浩 司
学 位 の 専 攻 分 野 の 名 称	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	乙文第126号 (文部科学省への報告番号乙第339号)
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与年月日	2010年9月8日
学 位 論 文 題 目	<b>事象関連電位を用いた知覚-運動課題遂行中の情報処理負担に関する評価手法の人間工学的研究</b>
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 八 木 昭 宏 (副査) 教 授 片 山 順 一 黒 須 正 明 (放送大学教授)

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、操縦者（ドライバーやライダー等）のメンタルワークロード（MWL）を時系列で客観的に評価できる新たな評価手法を考案して、その有効性を実験的に検証したものである。また、その評価手法の制約事項と応用方法についても検討した。

実験1では、運転行動を単純化した複合的なトラッキング作業を用いて、質の異なる MWL における「眼球停留関連電位のラムダ反応」と「聴覚 P300」を同時計測し、各指標の反応特性を検証した。その結果、ラムダ反応は、知覚-中枢系の MWL の影響を受けてピーク振幅が低減し、関連プローブ法による聴覚 P300は、知覚-運動系と知覚-中枢系の MWL の影響を受けてピーク振幅が低減した。両指標の反応特性が異なることが明らかになり、この特性を利用すればユーザにどのような種類の負荷がかかっているのかを特定することができると考察している。例えば、関連プローブ法で計測した聴覚 P300のみを指標として用いた場合には、知覚-運動系と知覚-中枢系の負荷を弁別できないが、ラムダ反応も同時計測することによって、知覚-中枢系の負荷を分離して評価することができる。知覚-中枢系の MWL のみを分離して評価できると、自動車走行中における画像表示装置の操作に伴う MWL を、「運転操作に伴う知覚-運動系の MWL」と「画像表示装置の操作に伴う知覚-中枢系の MWL」に分けて評価することが可能となり、様々な HMI (Human Machine Interface) 評価に応用できると論議している。

この評価手法を実際に応用する場合には、ラムダ反応の再現性と聴覚 P300の計測法に伴うユーザへの負担度合いが重要となってくる。特にラムダ反応は、聴覚 P300に比べて MWL 評価に関する基礎データが十分ではなく、再現性のある指標であるかどうかの問題となる。そこで、実験2では、実験1と同じ MWL がラムダ反応へ及ぼす影響を検証し、その再現性を検証した。また、聴覚 P300に関しては、計測法として関連プローブ法が用いられることが多いが、この方法では、ユーザーの作業を邪魔することになる。実験2では、無関連プローブ法による聴覚 P300で、実験1と同じように MWL の影響を測定できるかどうかを検証した。その結果、ラムダ反応は、知覚-中枢系の負荷によってのみ、そのピーク振幅を低減させたので、再現性のある有効な評価指標であることが確認できた。無関連プローブ法による聴覚 P300は、各種 MWL において明確な成分が認められず、その影響を検出することができなかった。無関連プローブ法による聴覚 P300は、MWL の評価指標として用いるのは難しいと結論している。以上のように、実験2では、ラムダ反応は再現性のある指標であり、評価指標として妥当である点と、聴覚 P300は無関連プローブ法ではなく関連プローブ法で計測する必要がある点について知見が得られた。実験2で

は、今回提案する評価手法に関する評価指標の妥当性と計測上の制約事項について新たな知見が得られた。

実験3では、実験1や実験2とは異なり、モダリティの異なる視覚オドボール課題で、視覚 P300を計測し、各種視聴覚情報処理を伴う知覚－中枢系の MWL を評価した。その結果、聴覚系の MWL の影響は視覚 P300で計測し、視覚系の MWL の影響は、異なるモダリティである聴覚 P300で計測することが有効であると示唆された。実験3の結果より、「ラムダ反応」と「関連プローブ法による聴覚 P300」を同時計測する評価手法は、視認操作系の評価タスクであれば適用できるが、ハンズフリーの音声対話や音声認識技術を活用したナビゲーションシステムなど音声インタラクションを主とする情報通信機器を対象とした評価には適用できないことを明らかにした。

実験4では、実験1～3で用いたトラッキング課題ではなく、複雑な動画像提示と対処行動を必要とし、知覚－運動系と知覚－中枢系の MWL が混在する二輪ゲームを使って、「課題の難易度（走行コースの複雑性と技量レベル）」および「走行目標（ラップ成績重視か安定走行重視）」がラムダ反応と聴覚 P300へ及ぼす影響を検証した。その結果、ラムダ反応の結果では、複雑なコースに比べて単純なコースのピーク振幅が技量の上位群で低減した。上位群は技量レベルが高く、操作が自動化するので、知覚－運動系の MWL が低下し、上位群の単純コースは単調な作業になったと考えられる。従ってラムダ反応は、二輪ゲーム課題においても、知覚－運動系の MWL を評価できる有効な指標であると示唆された。一方、聴覚 P300の結果では、単純なコースに比べて複雑なコースのピーク振幅が低減した。関連プローブ法で計測した聴覚 P300は、知覚－運動系と知覚－中枢系の MWL の増加に伴って、そのピーク振幅が低減することが実験1で示されている。

走行コースが複雑になると、技量レベルに関わらず知覚－中枢系の MWL が増加し、聴覚 P300のピーク振幅が低下したと考えられる。よって、関連プローブ法で計測した聴覚 P300は、二輪ゲーム課題においても、知覚－中枢系の MWL を評価できる有効な指標であると示唆された。以上のことから、「ラムダ反応」と「関連プローブ法による聴覚 P300」を同時計測する評価手法は、ドライビングシミュレータ等での HMI 評価に活用できると考察した。

事象関連電位は、脳の情報処理負担を直接計測できる指標であるので、評価指標として非常に有効であると考えられるが、次のような問題点がある。「ノイズの影響を受けやすい」、「脳波計測に伴う専門的知識を必要とする」、「計測機器が高額である」。さらに、ERP は加算平均処理する必要があるので、十分な加算回数が可能な評価タスクに限定される。特に、ラムダ反応は、サッカードが生じない条件（追従作業課題など）では計測できず、知覚-中枢系の MWL も評価できないので、評価タスクの内容を事前に吟味する必要がある。しかしながら、事象関連電位を用いてメンタルワークロードを評価する手法は、①自動車走行中における画像表示装置の操作に関する新しい判断基準として用いることができる、②自動車やボート走行における各種 HMI 評価に用いることができる、③各種 MWL の状態に応じた新しい機器制御方法へも応用できると展望している。本研究で提案する ERP を用いた MWL の評価手法は、各指標の制約を踏まえれば、今後様々な分野に応用されることが期待される。

## 論文審査結果の要旨

人間工学の場面では、従来、視覚作業中の注意に関する研究は、メンタルワークロード（MWL）の評価として多くの研究が行われてきた。大本氏はこの論文で、MWL の評価に関して、脳の活動を反映する脳電位を指標とした新たな手法の開発を目指している。特に、脳電位のラムダ反応と、二重作業事態における聴覚の事象関連電位の P300成分を同時記録し、両者の特性を比較検討し、実用化したところが世界

でも最初の主たる成果である。

注意に関する脳電位の基礎研究では、視覚事象関連電位が主に用いられている。その電位の測定の際には、眼球を動かすことが禁じられるので、現場における視覚作業中の MWL の測定が難しかった。日常生活で眼を動かさずに行う作業はほとんどない。そのため、特殊な事象関連電位である眼球停留関連電位の成分であるラムダ反応が用いられている。しかし、シミュレータによるトラッキング作業のように眼球がゆっくり動く場面などへの適用が難しかった。

一方、視覚作業中の MWL の研究では、二重作業法が用いられてきた。視覚作業の MWL を測定するため、その作業とは無関係な聴覚刺激を提示する。その聴覚刺激に対する事象関連電位の P300 成分の減衰から、視覚作業への負荷を測定するもので、数多くの研究が行われている。しかし、その測定法は、間接的に視覚の MWL を測っているという弱点が指摘されていた。

大本氏は、ラムダ反応と聴覚 P300 の両者を組み合わせて、作業中の MWL を評価し、それぞれの手法の特色を明らかにした。序論では、直接この論文には含まれていないが、以前に実施した単調作業の実験の成果を基に、これまでに実施されてきた国内外の MWL の研究をまとめ概観している。様々な他の評価法の特徴の分析は、これまでに無いユニークな問題提起として評価できる。

論文の本体は、4 つの実験研究から構成されており、ラムダ反応と P300 の詳細な分析が行われている。実験 1 では、トラッキング課題が用いられた。ゆっくり動くターゲットに対しては、ラムダ反応の検出が難しいが、ターゲットの周辺視野に、数字刺激を提示するという新たな手法を開発し、ラムダ反応の測定に成功した。同時に聴覚刺激に対する P300 の振幅変化の測定にも成功し、序論で予測したように、ラムダ反応と P300 それぞれが、作業の難易度に対応して異なった変化を示すことを明らかにした。このように眼が動く事態での、視覚と聴覚の電位を同時に測定し、それぞれの機能の難易度に対応した結果は、新規な研究成果である。また、その結果、ラムダ反応が知覚－中枢系の活動を反映し、P300 は、知覚－中枢系と、中枢－運動系の活動を反映していると結論している。実験 2 では、それをさらに確認するため、再現性に関する実験研究が行われ、手法の信頼性が確認された。

実験 3 では、ナビゲーションシステムなど、運転者への音声による指示の効果を、視覚の P300 によって調べるために実施された。音声や音楽など聴覚刺激を被験者に提示し、視覚刺激による P300 に、どのような効果が及ぼされるかを検証するための研究である。視覚トラッキングをしながら、視覚刺激として、ヘルメット内に仕掛けた LED（発光ダイオード）による視覚刺激提示装置も考案している。その結果、音声対話に対応した視覚の P300 の結果を得ているが、論文の中で視覚 P300 の問題点と限界を指摘している。

実験 4 では、実車の走行のシミュレーション事態で、ラムダ反応と聴覚の P300 の測定を行っている。難易差のある道路条件では、まず、P300 では運転の難易度に対応した結果を得た。さらに、ラムダ反応は、運転の上級者と初心者で分けて分析した場合は、コースの難易度に応じた差が得られた。この実験は実車に近いゲーム事態でなされたが、実車にも適用できる測定技術である。近年、コンピュータゲームが盛んになっている。しかし、ゲームに対しては学術的にも評価が二分している。大本氏の研究手法と実験結果の成果は、今後、ゲームの評価にも応用できると期待される。

考察と結論では、これらの研究成果から、ラムダ反応は視覚－中枢系の指標として、また聴覚の P300 は、視覚－中枢、中枢－運動系の評価指標として有効との論議を行っている。さらに将来の実車における MWL の評価や、自動車やボートなど人間機械系の他のインターフェイスへの応用の展望を行っている。

口頭試問においては、実験結果の考察における MWL に関して質疑がなされ、背景となる MWL の理論の解釈には、別な考え方もありうることが指摘された。しかし、理論そのものが学会でも議論中である。これは、大本氏の今後の研究で解決される問題でもあり、そのこと自体は論文の価値を下げるものではな

い。本論文の軸となる各々の実験研究の成果は、既に厳しい審査付きの国際学会誌や国内の学会誌で発表されており内容は高く評価できる。

本学で修士学位取得後、企業や自治体の研究機関で研究活動が続けてきた。現在の研究所は磐田市にあり、研究所と関西学院大学と総合研究大学院の間を往復しながら、実験研究と論文を仕上げた。企業の研究所で本来の仕事をしながら、この論文を仕上げた努力は高く評価できる。現在は、輸送機器に関する研究所で、二輪車、高齢者用移動機器、小型船舶などを操作中の MWL の研究が続けている。最近、今回の論文の研究成果を基に、海外を含む特許の出願を行った。また、学会や車両関係の協会などで、MWL の心理生理学的研究法の講演や指導を行っている。審査委員会の一同は、大本氏の今回の論文内容と、8月26日に実施した口頭試問の結果、学会や協会での活躍から判断して、博士学位（学術）を授与するに相応しいと判断したので報告する。